

I Einleitung

Im Chemieunterricht können Analogien (Ähnlichkeiten) den Lernenden helfen, Erkenntnisse über chemische Sachverhalte und Prozesse (Originale), die in der Natur oder Industrie vorkommen, zu gewinnen. Häufig sind diese Originale aufgrund bestimmter Gründe für Lernende unanschaulich, zu abstrakt oder nicht direkt zugänglich. Zusätzlich können die originalen Prozesse auch aufgrund ihrer Komplexität, ihres räumlichen Ausmaßes sowie spezifischer sicherheitsrelevanter Eigenschaften nur schwer als Experimente im Labor unter realen Bedingungen durchgeführt werden. Daher werden insbesondere für solche schwer zugänglichen Originale (allgemein: Bereiche) häufig Analogien zu anderen Bereichen, welche weniger komplex sind und den Lernenden vertrauter oder sogar bereits bekannt sind, hergestellt (vgl. Duit, Roth, Komorek & Wilbers, 2001).

Diese Bereiche werden im Chemieunterricht u.a. durch materielle Modelle, Gedankenmodelle, Analogiegeschichten, Simulationen und Modellexperimente repräsentiert. Modellexperimente sind dabei besonders interessant, da sie durch das Experiment als zentrales Medium im Chemieunterricht eine enge Brücke zu einem originalen chemischen Prozess bilden. Gleichzeitig weisen Modellexperimente schon aufgrund ihrer Genese Ähnlichkeiten zu einem Original auf. Damit bei der Verwendung von Modellexperimenten im Chemieunterricht Erkenntnisse von Lernenden über ein Original effektiv gewonnen werden können, müssen Lernende in Analogien denken. Das bedeutet, sie müssen Analogien erkennen, bilden und diese auch nutzen.

Um Analogien zwischen einem Modellexperiment und einem Original zu bilden, müssen die Lernenden zunächst alle relevanten Elemente und Prozesse des Modellexperiments wahrnehmen. So hat die Wahrnehmung des Modellexperiments neben dem Wissen, das die Lernenden zu einem Thema mitbringen, und den rudimentären, bekannten Informationen zu dem Original, einen signifikanten Einfluss auf die Lernwirksamkeit einer Analogie (vgl. Mayer, 1996). Die visuelle Wahrnehmung steht nach Arnheim (1972) in einem direkten Zusammenhang mit dem Lernprozess. Konkret bedeutet das, dass die Schüler*innen die Informationen zunächst erkennen und aufnehmen müssen, um sie dann anschließend zu verarbeiten, mental zu repräsentieren, zu speichern und in unterschiedlichen Situationen anzuwenden (vgl. Wild & Möller, 2014; Wirth, 2018).

Inwiefern die Lernenden die für den Lernprozess relevanten Elemente beim Betrachten eines Modellexperiments wahrnehmen, ist bisher noch nicht wissenschaftlich analysiert worden. In der chemiedidaktischen Forschung gibt es bisher wenige

Erkenntnisse zum Prozess der Wahrnehmung von chemischen Inhalten, die sich hauptsächlich auf statische Reize beschränken. Über die Wahrnehmung dynamischer Prozesse, z.B. von Modellexperimenten, gibt es bislang nur vereinzelt Erkenntnisse. Da die Wahrnehmung der relevanten Elemente des Modellexperiments nach Arnheim (1972) eine notwendige Voraussetzung für das Generieren und Nutzen von Analogien bildet, stellt sich die Frage, ob die wahrgenommenen Elemente einen Einfluss auf das Erkennen von Analogien zwischen einem Original und einem Modellexperiment und damit auf das Vorgehen beim Denken in Analogien haben.

Insbesondere im Bereich der Modellexperimente im Chemieunterricht sind die Forschungsergebnisse, die sich mit dem konkreten Prozess der Wahrnehmung und dem Denken in Analogien bei Schüler*innen beschäftigen, sehr limitiert und beschränken sich meistens auf die Überprüfung des Lernerfolgs durch den Einsatz eines Modellexperiments. Diesem Desiderat soll die vorliegende Arbeit begegnen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Erkenntnisse über die Wahrnehmung, den genauen zeitlichen Ablauf des Prozesses des Denkens in Analogien, den Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Denken in Analogien sowie den Lernerfolg beim Umgang mit Modellexperimenten zu gewinnen.

Um dies in der vorliegenden Studie zu untersuchen, werden etablierte Methodiken der Psychologie, wie Eye-Tracking und Lautes Denken, die auch immer mehr Eingang in die fachdidaktische Forschung erhalten, genutzt. Dazu wurden diese empirischen Forschungsmethoden an die Lernumgebung angepasst. Gleichzeitig wurde ein konkretes, den dynamischen Anforderungen entsprechendes Modellexperiment ausgewählt: das Modellexperiment zur Staubexplosion in der Low Cost-Hartmann Apparatur.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

2.1 Analogien

Analogien dienen als Instrument für wissenschaftliches Denken (vgl. Glynn, Duit & Thiele, 1995, S. 248). Sie werden verwendet, um unbekannte Sachverhalte und Prozesse zu erklären, zu erkunden oder Erkenntnisse über diese Sachverhalte und Prozesse zu gewinnen (vgl. Hesse, 1966; Hoffman, 1980; Glynn et al., 1995). Dabei wird auf vertraute Erfahrungen, Bilder und Vorstellungen zurückgegriffen, Hypothesen gebildet und Vorstellungen übertragen (vgl. Klinger, 1987, S. 23f. am Beispiel Voltas sieht er typische Analogiedenkprozesse von Physikern).

2.1.1 Definition des Begriffes Analogie

In der *Wissenschaft* allgemein bezeichnet der Begriff Analogie (lat. *analogia*: gleiches Verhältnis zwischen zwei oder mehreren Dingen) die Übereinstimmung in den Verhältnissen beziehungsweise ein messbares vergleichbares Aufeinanderbezugensein (vgl. Sandkühler, 1990, S. 51). Besonders die Wissenschaftsdisziplinen *Kognitionspsychologie* und *einige Fachdidaktiken* haben sich mit diesen Analogien beschäftigt. In der Kognitionspsychologie wird eine Analogie definiert als eine Ähnlichkeit hinsichtlich spezifischer Merkmale zwischen zwei zueinander in Beziehung stehenden Bereichen (vgl. Beller & Bender, 2010, S. 121). Bauer und Richter (1986) verstehen in der Fachdidaktik unter einer Analogie eine Übereinstimmung unterschiedlichen Grades bezüglich der Eigenschaften und Beziehungen zwischen zwei Bereichen. Diese Bereiche werden als *Analogiebereich*¹ und *Zielbereich*² bezeichnet (vgl. Abbildung 1). Dabei wird der bekannte, vertraute Analogiebereich genutzt, um Wissen über einen unbekanntem, zu erschließenden Zielbereich zu generieren (vgl. Schwedes, 1996b, S. 277).

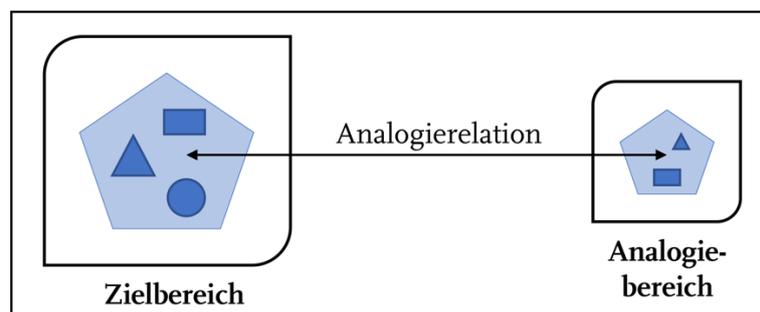


Abbildung 1: Analogierelation zwischen Analogie- und Zielbereich.

¹ Auch Quellsituation (Belle & Bender, 2010, S. 121), Basisbereich (Gentner, 1989), Basisanalogon (Vosniadou & Ortony, 1989) genannt.

² Auch Zielsituation genannt (Belle & Bender, 2010, S. 121).

Wie diese Bereiche jedoch konkret gestaltet sind, ist in der Analogie-Literatur häufig nicht einheitlich definiert. So sind die Bereiche bei Bauer und Richter (1986) nicht eingeschränkt. Lediglich werden sie als materielle und ideelle Objekte oder Prozesse gesehen. Analogie- und Zielbereich können dabei im selben Themengebiet liegen aber auch in unterschiedlichen. Duit & Glynn (1992) geben konkrete Beispiele für einen Analogiebereich. So kann als Analogiebereich z.B. einerseits ein konkret aufgebautes (materielles) Wassermodell fungieren. Andererseits können jedoch auch Abstrakta wie Begriffsnetze verwendet werden. Als Zielbereiche lassen sich u.a. *materielle* (Wassermodell – vgl. Duit & Glynn, 1992; Modell einer Nervenzelle – vgl. Högermann & Kricke, 2013), *literarische* (Holzapfelkrieg bezogen auf das chemische Gleichgewicht – vgl. Dickerson & Geis, 1981), *mentale* (Aufbau des Sonnensystems als Beispiel für den Atomaufbau – vgl. Falkenhainer, Forbus & Gentner, 1989), *digitale* (Simulationsmodell zur Synthese von Natriumchlorid – vgl. www.chemie-interaktiv.net/html5_flash/nacl_synthese_5.html), *funktionale* (Funktionsmodell zur Massenspektrometrie oder zur Volumenkontraktion – vgl. Sommer et al., 2017) und *experimentelle* (Modellexperiment zur Staubexplosion – vgl. ebd.) Analogiebereiche finden. In all diesen Fällen handelt es sich jedoch um klar abgrenzbare Mengen von konkreten Merkmalen, die gegenständlich oder abstrakt sind (vgl. Beller & Bender, 2010, S. 121; Wilbers, 2000, S. 85; Duit & Glynn, 1992).

Die Vorstellung der Menge wird in der Structure-Mapping Theorie (SMT) von Gentner (1983) konkreter. So stellen die Bereiche Netzwerke dar, die „in Form von Prädikaten dargestellt [werden], die Objekte, Attribute und die Beziehungen, die zwischen ihnen bestehen, erfassen“ (Kurtz, Miao, & Gentner, 2001, S. 418f). Darauf soll im Folgenden näher eingegangen werden:

Ein *Objekt*³ beschreibt einen Gegenstand, auf den sich jemand bezieht und auf den das Denken oder Handeln ausgerichtet ist (vgl. Dudenverlag, 2021b). Der Begriff *Attribut* kommt aus dem Lateinischen und bedeutet *attribuere*: zuteilen (vgl. Mittelstraß, 2016, S. 286). Es bezeichnet eine Charakteristik, eine auffällige Eigenschaft eines Gegenstandes, „die er seiner Natur nach wesentlich haben muss“ (Mittelstraß, 2016, S. 286). Somit wird einem Objekt eine Eigenschaft zugeschrieben, d.h. ein Objekt wird mit einer Eigenschaft direkt verknüpft (vgl. Dudenverlag, 2021a; Paatz, 2002, S. 13). Bei den Attributen kann auf Basis der Analogiedenkforschung zwischen zwei verschiedenen Arten unterschieden werden, den *oberflächlichen* und *strukturellen Attributen*. *Oberflächliche Attribute* sind „Eigenschaften, die üblicherweise nicht für das Verständnis eines Sachverhaltes wesentlich sind“ (Bösel, 2016,

³ Der Begriff Objekt ist seit dem 18. Jahrhundert in der Philosophie durch den Begriff Gegenstand ersetzt (Mittelstraß, 2016, S. 3ff.).

S. 99). Kircher (1989) nennt konkrete Eigenschaftsbereiche, bei denen es sich um oberflächliche Attribute handeln kann. Die oberflächlichen Attribute können sich auf das äußere Erscheinungsbild (Form, Farbe) sowie die wörtlichen Oberflächeneigenschaften (viereckig, rund) oder Objekteigenschaften (hart/weich, klebrig) beziehen. *Strukturelle Attribute* sind dagegen Eigenschaften, die für das Verständnis eines Sachverhaltes relevant sind (vgl. Kircher, 1995). Sie beschreiben die Funktion und die Struktur des Analogie- und Zielbereiches. Der Begriff *Relation* (Beziehung) bezeichnet eine „Kategorie zur Bezeichnung beliebiger Beziehungen, die zwischen gegebenen Objekten auf Grund bestimmter Eigenschaften dieser Objekte bestehen bzw. hergestellt werden können“ (Sandkühler, 1990, 95). Neben den strukturellen Attributen sind auch die Relationen für das Verständnis eines zugrundeliegenden fachlichen Konzeptes besonders relevant (vgl. Beller & Bender, 2010; Forbus, Gentner & Law, 1994; Kircher, 1995; Wilbers, 2000).

Da die Objekte, Attribute und Relationen das Netzwerk eines jeden Bereiches aufspannen, können Analogie- und Zielbereich Ähnlichkeiten auf der Objektebene, Attributebene oder Relationsebene aufweisen (vgl. Gentner, 1989). Diese Ebenen können unter dem Begriff *Analogiearten* zusammengefasst und die einzelnen analogen Merkmale mit diesen Analogiearten kategorisiert werden. Die Menge aller Merkmale, die sich zwischen Analogie- und Zielbereich entsprechen, wird als *Analogierelation*⁴ (kurz: Analogie) bezeichnet (vgl. Beller & Bender, 2010, S. 121). Je nach Art der Merkmale, die eine Analogierelation zwischen Analogie- und Zielbereich aufspannen, wird in der Literatur von verschiedenen Autoren jeweils zwischen einfachen und tiefergehenden Analogien unterschieden, die von den Autoren jeweils unterschiedlich bezeichnet werden (Übersichtsdarstellung in Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der Bezeichnungen für einfachen und tiefer gehenden Analogien.

Einfache Analogie	Tiefergehende Analogie	Autoren
Mere appearance match (übersetzt: rein äußerlicher Vergleich)	Literal similarity (übersetzt: wörtliche Ähnlichkeit)	Gentner (1989); Falkenhainer, Forbus & Gentner (1989)
Simple Analogien	Strukturelle Analogien	Holyoak & Koh (1987)
Analogie im weiteren Sinn	Analogie im engeren Sinn	Duit & Glynn (1992)
Phänotypische Analogie	Genotypische Analogie	Spreckelsen (1997)
Oberflächenanalogie	Strukturelle Analogie	Kircher (1989)

⁴ Auch Ähnlichkeitsbeziehung genannt.